

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number:

2003-017803

(43) Date of publication of application : 17.01.2003

(51) Int. Cl.

H01S 5/125

G02B 7/02

H01S 5/026

H01S 5/22

(21) Application number : 2001-203453

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22) Date of filing : 04.07.2001

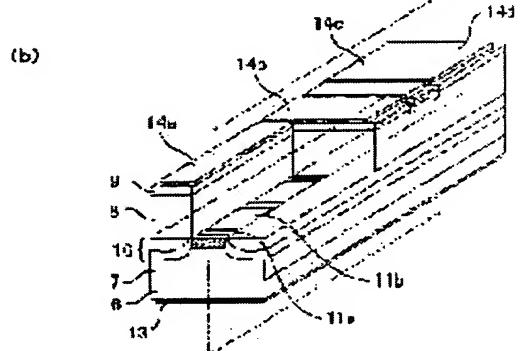
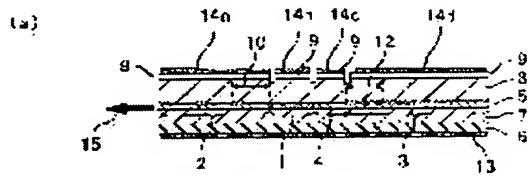
(72)Inventor : GOTODA MITSUNOBU

(54) WAVELENGTH TUNABLE SEMICONDUCTOR LASER AND OPTICAL MODULE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a wavelength tunable semiconductor laser that is superior in wavelength stability.

SOLUTION: This wavelength tunable semiconductor laser comprises a semiconductor substrate 6; an optical waveguide 5 provided on the upper surface of the substrate 6; and a front reflecting region 2, which is provided on the front side of the waveguide 5 in the laser beam emission direction of laser light as part of the waveguide 5, and composed of SG-DBR mirrors repeatedly arranged in a plurality of cycles 10 with each cycle 10 composed of a pair of diffraction grating sections 11a and 11a and a non-diffraction grating section 11b. The laser also comprises a rear reflecting region 3 which is provided on the rear side of the waveguide 5 in the laser beam emission direction as part of the waveguide 5 and composed of SSG-DBR mirrors repetitively arranged in a plurality of cycles 12, with each cycle 12 being composed of portions in which the pitch of diffraction gratings is changed regularly from one end to the other end of a section having a prescribed distance; an active region 1, which is provided between the reflecting regions 2 and 3 as part of the waveguide 5 and composed of an active layer; and a phase control region 4, which is provided between the reflecting regions 2 and 3 as part of the waveguide 5 and composed of a portion having a refractive index changes, when current is injected into the layer.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-17803

(P2003-17803A)

(43)公開日 平成15年1月17日(2003.1.17)

(51)Int.Cl.⁷
H 01 S 5/125
G 02 B 7/02
H 01 S 5/026
5/22

識別記号
6 1 0

F I
H 01 S 5/125
G 02 B 7/02
H 01 S 5/026
5/22

デマコード(参考)
2 H 0 4 4
A 5 F 0 7 3
6 1 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願2001-203453(P2001-203453)

(22)出願日 平成13年7月4日(2001.7.4)

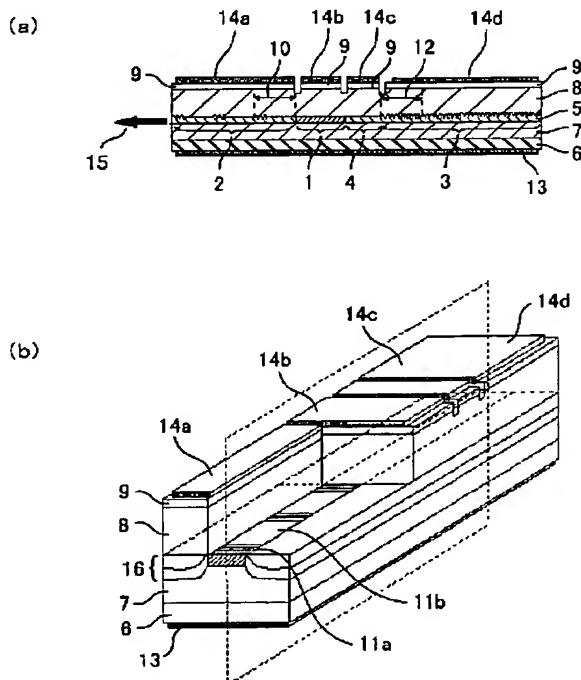
(71)出願人 000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(72)発明者 後藤田 光伸
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
(74)代理人 100102439
弁理士 宮田 金雄 (外1名)
Fターム(参考) 2H044 AA20
5F073 AA03 AA65 AB06 AB21 AB27
AB28 BA01 CA12 CB02 CB06
EA04 EA15 EA23 EA24 FA05
FA06

(54)【発明の名称】 波長可変半導体レーザおよび光モジュール

(57)【要約】

【課題】 波長安定性に優れた波長可変半導体レーザを得る。

【解決手段】 波長可変半導体レーザを、半導体基板6と、この半導体基板6の上面に設けられた光導波路5と、この光導波路5の一部でレーザ光出射方向に対して前方に設けられ一対の回折格子部11aと非回折格子部11bからなる部分を一周期10として複数周期繰り返されたSG-DBRミラーからなる前方反射領域2と、この光導波路5の一部でレーザ光出射方向に対して後方に設けられ回折格子のピッチを所定の距離間の一端から他端へと規則的に変化させた部分を一周期12として複数周期繰り返されたSSG-DBRミラーからなる後方反射領域3と、この光導波路5の一部で前方反射領域2と後方反射領域3の間に設けられた活性層からなる活性領域1と、この光導波路5の一部で前方反射領域2と後方反射領域3の間に設けられ電流注入により屈折率変化を生ぜしめる位相制御層からなる位相制御領域4と、で構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板と、前記半導体基板の上面に設けられた光導波路と、前記光導波路の一部でレーザ光出射方向に対して前方に設けられ一対の回折格子部と非回折格子部からなる部分を一周期として複数周期繰り返されたSSG-DBRミラーからなる前方反射領域と、前記光導波路の一部で前記レーザ光出射方向に対して後方に設けられ回折格子のピッチを所定の距離間の一端から他端へと規則的に変化させた部分を一周期として複数周期繰り返されたSSG-DBRミラーからなる後方反射領域と、前記光導波路の一部で前記前方反射領域と前記後方反射領域の間に設けられた活性層からなる活性領域と、前記光導波路の一部で前記前方反射領域と前記後方反射領域の間に設けられ電流注入により屈折率変化を生ぜしめる位相制御層からなる位相制御領域と、を備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ。

【請求項2】前記前方反射領域における前記非回折格子部上に電流プロック領域を形成したことを特徴とする請求項1記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項3】前記光導波路の一部で前記前方反射領域に対してさらに前方に設けられたレーザ光増幅領域を備えたことを特徴とする請求項1または2記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項4】前記レーザ光増幅領域における光導波路が、レーザ光出射端面に近接するに従い前記半導体基板に対して平行方向に徐々に拡張されたテーパ形状を呈することを特徴とする請求項3記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項5】前記光導波路の一部で所定の光導波路幅を有する前記レーザ光増幅領域と前記前方反射領域との間に設けられ、前記レーザ光増幅領域に近接するに従い前記半導体基板に対して平行方向に徐々に拡張されたテーパ形状を呈するモード拡大領域を備えたことを特徴とする請求項3記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項6】請求項1ないし5のいずれか1項記載の波長可変半導体レーザと、前記波長可変半導体レーザから発したレーザ光を集光する集光レンズと、前記集光されたレーザ光を導波する光ファイバーと、前記波長可変半導体レーザ、前記集光レンズ、前記光ファイバーを固定する筐体と、を備えたことを特徴とする光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、幹線系の電話交換網等で利用される光ファイバー通信技術、特に異なる波長のレーザ光を同時に信号伝送に利用する波長多重光通信技術で必要とされる広帯域の波長可変半導体レーザに関するものであり、より具体的には、サンプルド・グレーティングミラーからなる前方光反射領域および超周期構造回折格子ミラーからなる後方光反射領域を活性領

域の前後に設けた光導波路を有した波長可変半導体レーザおよびその波長可変半導体レーザを光源とした光モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の多電極DBR (Distributed Bragg Reflectors) 構造を具備した波長可変半導体レーザの一例として、回折格子部にいわゆる超周期構造回折格子(SSG: Super-Structure-Grating)DBRを用いたSSG-DBR波長可変半導体レーザについて説明する。図11は、雑誌ジャーナル・オブ・クアントム・エレクトロニクス (H. Ishii et al. IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 32, No. 3, 1996, pp 433-441) で報告された従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザの構成を示した模式図であって、波長可変半導体レーザの光軸に平行方向の断面図を示す。

【0003】図11中、1は活性領域、2は前方光反射領域、3は後方光反射領域、4は位相制御領域、5はInGaAsPからなる光導波路、6はn型InP基板、7はn型InPクラッド層、8はp型InPクラッド層、9はp型InGaAsPコンタクト層、13はn型電極、14a、14b、14c、14dはp型電極、15は光共振器の前方端面(レーザ光出射端面)から出射するレーザ光、21および22は前方SSG-DBRミラーおよび後方SSG-DBRミラーの回折格子ピッチ変化、つまり変調の一周期、をそれぞれ示す。

【0004】ここで、SSG-DBRミラーとは、所定の距離間の一端から他端へと回折格子のピッチをΛ₀からΛ₁まで線形に連続的に変化(リニアチャーピング)させた部分を一周期Λ₀として複数周期繰り返した周期構造を指す。SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルは波長λ₀=2n₀×Λ₀からλ₁=2n₀×Λ₁までの波長域にわたって波長間隔Δλ=λ₀²/(2n₀×Λ₀)、で複数の反射ピークを有する。ここで、n₀は光導波路の等価屈折率、λ₀は中心波長である。

【0005】従来の波長可変半導体レーザにおける前方光反射領域2を構成する前方SSG-DBRミラーおよび後方光反射領域3を構成する後方SSG-DBRミラーでは、上述の前方SSG-DBRミラー中の一周期21および後方SSG-DBRミラー中の一周期22がそれぞれ複数周期繰り返されている(繰り返しについては図示せず)。SSG-DBR波長可変半導体レーザでは、上述の一周期21の距離に対して一周期22の距離を変える方法によって、前後のSSG-DBRミラーの反射ピークの波長間隔を互いにわずかに異なるように設計している。

【0006】次に、図11に示した従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザの動作について説明する。図11に示すように、活性領域1、前方光反射領域2、後方

光反射領域3および位相制御領域4を合わせて一体となった光導波路5を構成している。各領域には、それぞれ電気的に分離されたp型電極14a, 14b, 14c, 14dが設けられている。活性領域1上に設置されたp型電極14bと半導体基板6の裏面側に設けられたn型電極13の間に順方向バイアス電圧を印加することにより、活性層電流が活性領域1に注入され、活性領域1において広い波長範囲にわたる自然放出光が発生する。

【0007】かかる自然放出光は、光共振器内に形成されている光導波路5を伝播しながら、前方光反射領域2に形成された前方SSG-DBRミラーおよび後方光反射領域3に形成された後方SSG-DBRミラーによって繰返し反射、増幅されるとともに、前方光反射領域2あるいは後方光反射領域3と、さらに位相制御領域4への電流注入による各領域毎の屈折率制御によって、最終的に任意の一一波長が選択、制御され、ある閾値電流において単一波長でレーザ発振する。

【0008】従来の波長可変半導体レーザのレーザ発振波長制御について、さらに詳細に説明する。図12

(a)は、前方光反射領域2および後方光反射領域3に電流注入を行わない場合の各領域内にそれぞれ形成された前方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルと後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルを示し、図12(b)は、後方光反射領域3に電流注入を行った場合の後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルを、電流注入していない前方光反射領域2の前方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルと比較して示したものである。図において、横軸は波長、縦軸は反射率を示し、 λ_1 は前方光反射領域2および後方光反射領域3のいずれにも電流注入を行わない場合に前後のSSG-DBRミラーの反射ピークが一致する波長を、また、 λ_2 は後方光反射領域3に電流注入を行った場合に前後のSSG-DBRミラーの反射ピークが一致する波長をそれぞれ示している。これらの反射ピークスペクトルは、一般にSSG-DBR波長可変半導体レーザの特徴である互いに強度の異なる複数の極めて線幅の狭い反射ピークから成っている。

【0009】上述したように、前方SSG-DBRミラー制御電流と後方SSG-DBRミラー制御電流が共にゼロである初期状態では、前方光反射領域2および後方光反射領域3にそれぞれ形成された前方および後方SSG-DBRミラーの反射ピークが一致する波長は λ_1 となる。この結果、波長 λ_1 の光は前後のSSG-DBRミラーで強い反射を受けるので、波長 λ_1 における損失は、他の波長光に比べて極めて小さくなる。すなわち、波長 λ_1 における光の利得が他の波長と比較して相対的に増大し、この結果、波長可変半導体レーザは波長 λ_1 でレーザ発振に至る。なお、前方および後方SSG-DBRミラーの反射ピークが一致する波長が λ_1 のみで近傍の他の反射ピークとは一致しないのは、両者の一周期

21, 22 それぞれの距離の相違に基づいた回折格子のピッチの相違に起因した前後ミラー間における反射ピークスペクトルの波長間隔の微妙なずれのため、あたかもバーニアの目盛りのように特定箇所だけでしか一致しないからである。

【0010】SSG-DBR波長可変半導体レーザのレーザ発振波長を変化させるには、図12(b)に例示したように、前方光反射領域2または後方光反射領域3のどちらか一方あるいは両方に順方向バイアス電圧を印加して、かかる領域に電流注入を行ない、この電流注入によって前方光反射領域2および/または後方光反射領域3の屈折率を等価的に変化させる。電流注入により屈折率を変化させることによって相対的に利得の大きな波長が短波長側にシフトし、この光が光導波路5内を伝播、増幅して、最終的に前方および後方SSG-DBRミラーの反射ピークが一致する波長 λ_2 でレーザ発振する。このような手段、つまりSSG-DBRミラーが形成された光反射領域に電流を注入し、かかる電流注入レベルを制御して光反射領域の屈折率を意図的に変化させることにより、波長可変半導体レーザのレーザ発振波長を制御性良く変化させることが可能となる。SSG-DBRミラーの特徴としては、各反射ピーク強度が比較的高くとれる点にある。特に後述するSG-DBRミラーに対してかかる効果は顕著である。

【0011】また、SSG-DBRと類似した波長可変半導体レーザ用ミラーとして、例えば、雑誌ジャーナル・オブ・クアンタム・エレクトロニクス(V. Jayaraman et al. IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 29, No. 6, 1993, pp. 1824-1834)に報告されているサンブルド・グレーティング-DBR、つまりSG-DBRがある。SG-DBRとは、一対の回折格子部と非回折格子部からなる部分を一周期として複数周期繰り返した構造を指す。なお、回折格子部の回折格子は通常の均一ピッチのものである。

【0012】図13にSG-DBR波長可変半導体レーザの断面構造を示す。SG-DBR波長可変半導体レーザは、上述のSSG-DBR波長可変半導体レーザに対して、前後の光反射領域2, 3を構成するミラーがSG-DBRである点でのみ相違する。SG-DBRミラーの特徴としては、一対の回折格子部と非回折格子部を一周期とし、かかる部分を複数周期繰り返して光反射領域を形成した結果、反射ピークスペクトルに周期的な反射ピークが発生する点にある。因みに、通常の均一ピッチのみの回折格子からなる光反射領域、すなわちDBRミラーでは反射ピークは一つだけであり、この点で両者は顕著に相違する。しかしながら、SG-DBRミラーでは、各反射ピーク強度が高くとれず、また、各強度自体がそれぞれの反射ピークで異なっている。具体的には、SG-DBRミラーの反射ピークスペクトルは、中央の

反射ピークから両側に向かって単調に減少するスペクトル形状を呈している。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】図12では、上述したように、従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザにおける前後のSSG-DBRミラーの反射ピークの波長依存性を示している。SSG-DBR波長可変半導体レーザでは、上述したように、前方反射領域2の一周期21の距離に対して後方反射領域3の一周期22の距離を変える方法等によって、前後のSSG-DBRミラーの反射ピークの波長間隔を互いにわずかに異なるように設計している。前後のSSG-DBRミラー領域、すなわち前方光導領域2や後方光反射領域3に電流を注入して屈折率を低下させて反射ピークを短波長側にシフトさせ、前後のSSG-DBRミラーの反射ピークが一致する波長を変える方法、つまりいわゆるバーニア効果を適用した方法によってレーザ発振波長を変化させていた。

【0014】しかしながら、SSGモード毎に反射ピーク強度がランダムに変動しているため、上述のバーニア効果を適用してレーザ発振波長を変える際に、本来意図していない他のSSGモードでのレーザ発振とのモード間競合が起こり得た。したがって、前方SSG-DBRミラーへの注入電流(i_1)と後方SSG-DBRミラーへの注入電流(i_2)を変えた場合に、レーザ発振波長が素子温度や注入電流の変動によって不規則に変動する可能性が高かった。また、かかる反射ピーク強度のランダムな変動により、一部の波長域において連続的に変化しにくい問題も生じた。

【0015】従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザにおいて、SSG-DBRミラーをなす回折格子の一周期21、22の繰り返し周期を増加して反射率を十分に高めることにより、反射ピーク強度の均一化を図ることも可能であるが、この場合、前方SSG-DBRミラーの反射率を高くすると外部へ取り出すことのできるレーザ光出力が低下し、微分量子効率も低下する問題が生じた。また、前方光反射領域2を長くすると、電流注入を行った際にフリーキャリア吸収やキャリア再結合の影響によって、レーザ発振線幅が広がる問題も新たに発生した。

【0016】一方、前後の光反射領域がSG-DBRミラーの場合、SSG-DBRミラー構造に比べて各反射ピークの反射ピーク強度が高く取れず、さらに中央の反射ピークから両側に向かって反射ピーク強度は単調に減少しているので、反射ピークスペクトルが波長全体としてフラットではないため、SSG-DBRミラーに比べて波長可変域が狭いという問題があった。

【0017】さらに、波長可変半導体レーザを用いて光ファイバーを介してより遠方にレーザ光を送るには、光ファイバー内の光損失に打ち勝つべく、なるべく高い光出力が得られることが実用上望ましかった。

【0018】この発明は、上述のような従来の波長可変半導体レーザで発生した問題点を解決するためになされたものであり、波長可変時の波長安定性や低閾値電流、高光出力動作等の素子特性に優れた波長可変半導体レーザを提供することを目的とする。また、波長安定性に優れ、かつ高光出力動作等の特性に優れた光モジュールを得ることを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明に係る波長可変半導体レーザは、半導体基板と、半導体基板の上面に設けられた光導波路と、光導波路の一部でレーザ光出射方向に対して前方に設けられ一対の回折格子部と非回折格子部からなる部分を一周期として複数周期繰り返されたSSG-DBRミラーからなる前方反射領域と、光導波路の一部でレーザ光出射方向に対して後方に設けられ回折格子のピッチを所定の距離間の一端から他端へと規則的に変化させた部分を一周期として複数周期繰り返されたSSG-DBRミラーからなる後方反射領域と、光導波路の一部で前方反射領域と後方反射領域の間に設けられた活性層からなる活性領域と、光導波路の一部で前方反射領域と後方反射領域の間に設けられ電流注入により屈折率変化を生ぜしめる位相制御層からなる位相制御領域と、を備えた。

【0020】また、本発明に係る波長可変半導体レーザは、上述の前方反射領域における非回折格子部上に電流プロック領域を形成した。

【0021】また、本発明に係る波長可変半導体レーザは、上述の光導波路の一部で前方反射領域に対してさらに前方に設けられたレーザ光増幅領域を備えた。

【0022】また、本発明に係る波長可変半導体レーザは、上述のレーザ光増幅領域における光導波路が、レーザ光出射端面に近接するに従い半導体基板に対して平行方向に徐々に拡張されたテーパ形状を呈することとした。

【0023】また、本発明に係る波長可変半導体レーザは、上述の光導波路の一部で所定の光導波路幅を有するレーザ光増幅領域と前方反射領域との間に設けられ、レーザ光増幅領域に近接するに従い半導体基板に対して平行方向に徐々に拡張されたテーパ形状を呈するモード拡大領域を備えた。

【0024】本発明に係る光モジュールは、上述の波長可変半導体レーザと、かかる波長可変半導体レーザから発したレーザ光を集光する集光レンズと、集光されたレーザ光を導波する光ファイバーと、前述の波長可変半導体レーザ、集光レンズ、光ファイバーを固定する筐体と、を備えた。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明に係る波長可変半導体レーザは、光導波路の前方、すなわちレーザ光出射方向側にSG-DBRミラーからなる前方光反射領域、後方側に

SSG-DBRミラーからなる後方光反射領域をそれぞれ設け、SSG-DBRミラーにおける波長に対してフラットな複数の反射ピークスペクトルと、SG-DBRミラーにおける波長に対する極大値を有し、その極大値を中心として両側に単調に減少する複数の反射ピークスペクトルとの組合せの中で、一方あるいは両方の光反射領域への電流注入により各領域の屈折率制御を行って、電流注入された光反射領域の反射ピークスペクトルを意図的にシフトさせて前後光反射領域間で一致する波長を変化させることにより、所望のレーザ発振波長を広範な波長範囲で安定に得ようとするものである。

【0026】実施の形態1、図1(a)は本発明に係る実施の形態1の波長可変半導体レーザにおけるレーザ光出射方向に沿った素子断面図、(b)は素子概観図、をそれぞれ表す。図中、1は活性領域、2は前方光反射領域、3は後方光反射領域、4は位相制御領域、5はInGaAsPからなる光導波路、6はn型InP基板、7はn型InPクラッド層、8はp型InPクラッド層、9はp型InGaAsPコンタクト層、10は前方光反射領域を構成するSG-DBRミラー中の一对の回折格子部と非回折格子部を併せて一単位とした場合の一周期、11aは前方光反射領域を構成するSG-DBRミラー中の回折格子部、11bは前方光反射領域を構成するSG-DBRミラー中の非回折格子部、12は後方光反射領域を構成するSSG-DBRミラーの回折格子のピッチ変化、つまり変調に対する一周期、13はn型電極、14a、14b、14c、14dはp型電極、15は波長可変半導体レーザの出射端面から外部に出射されたレーザ光、16は電流閉じ込め層、をそれぞれ示す。

【0027】なお、かかる波長可変半導体レーザの構成材料としては、InP基板上に形成されたInGaAsP系の化合物半導体を用いている。

【0028】図11に示した従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザに比べると、前方光反射領域2における従来のSSG-DBRミラーの代わりにサンブルドグレーティング、すなわちSG-DBRミラーを適用している点で相違する。

【0029】次に、本発明に係る実施の形態1の波長可変半導体レーザの動作について説明する。かかる波長可変半導体レーザでは、上述したように活性領域1、前方光反射領域2、後方光反射領域3、位相制御領域4の各領域は、合わせてレーザ発振のための前後の反射ミラーと光導波路5を備えたひとつの光共振器を構成している。また、p型電極14a、14b、14c、14dは前方光反射領域2、活性領域1、位相制御領域4および後方光反射領域3に近接して、それぞれ電気的に分離されて形成されている。

【0030】活性領域1に電気的に分離して設置されたp型電極14bとn型電極13との間に順方向バイアス電圧を印加することにより、活性層電流が活性領域1に

注入され、活性領域1中で、広い波長範囲にわたる自然放出光が発生する。かかる自然放出光は光共振器内に形成されている光導波路5を伝播しながら、前方光反射領域2に形成された前方SG-DBRミラーおよび後方光反射領域3に形成された後方SSG-DBRミラーによって繰返し反射、増幅されるとともに、前方光反射領域2と後方光反射領域3のいずれか一方または両方と、位相制御領域4への電流注入によって、最終的に任意の一つの波長が選択、制御され、ある閾値電流において单一波長でレーザ発振する。

【0031】次いで本発明に係る実施の形態1における波長可変半導体レーザのレーザ発振波長制御についてさらに詳細に説明する。

【0032】図2(a)は、前方光反射領域2および後方光反射領域3に電流注入を行わない場合の各領域2、3内にそれぞれ生じる前方SG-DBRミラーの反射ピークスペクトルと、後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルであり、図2(b)は、後方光反射領域3に電流注入を行った場合の後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルを、電流注入していない前方SG-DBRミラーの反射ピークスペクトルと比較して示したものである。図において、横軸は波長、縦軸は反射率を示す。図からわかるように、極めて縦幅の狭い個々の反射ピークが一定の波長間隔で並んでいる様相を呈している。図中、 λ_1 は前方光反射領域2および後方光反射領域3のいずれも電流注入を行わない場合に前後のミラーの反射ピークスペクトルが一致する波長を、また、 λ_2 は後方光反射領域3に電流注入を行った場合に前後のミラーの反射ピークスペクトルが一致する波長をそれぞれ表している。前方光反射領域2における反射ピークスペクトルは、SG-DBRミラーに特有の反射ピークスペクトル、すなわち、中央の反射ピークから両側に向かって単調に反射ピーク強度が減少する形状を呈している。

【0033】上述したように、図2(a)は、前方SG-DBRミラー注入電流と後方SSG-DBRミラー注入電流が共にゼロである初期状態の反射ピークスペクトルを表す。この場合、前方光反射領域2および後方光反射領域3にそれぞれ形成された前方SG-DBRミラーと後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルが一致する波長は λ_1 となる。波長 λ_1 における損失は、他の波長の光に比べて極めて小さくなるので、波長 λ_1 の光の利得が相対的に増大し、この結果、本波長可変半導体レーザは波長 λ_1 でレーザ発振に至る。

【0034】本実施の形態における波長可変半導体レーザの発振波長を意図的に変化させるには、前方光反射領域2または後方光反射領域3のどちらか一方あるいは両方に順方向バイアス電圧を印加して各領域に電流注入を行い、フリーキャリア・プラズマ効果によって前方光反射領域2および/または後方光反射領域3の屈折率を等

折格子部11aと電流ブロック領域17が上部に設けられている非回折格子部11bとが所定の間隔で交互に形成されている。電流ブロック領域17は電流を流さない性質を有しているため、非回折格子部11bへの電流の注入を防止する。非回折格子部11bに電流が流れても波長を変える動作に対しては何ら寄与していない。したがって、上述したような電流ブロック領域17の形成によってかかる無効な電流成分を防止することにより、より低閾値でかつ高効率で動作する波長可変半導体レーザが得られる。

【0043】実施の形態2、図7(a)は本発明に係る実施の形態2の波長可変半導体レーザにおける光軸に沿った断面図である。実施の形態1と比べると、発生したレーザ光を増幅可能な結晶組成から成るレーザ光増幅領域101を設けている点が異なる。図7(b)は光導波路5と同一面内で波長可変半導体レーザを上面から見た場合の光導波路5の状態を示した模式図である。光導波路5に関しては、同一の光導波路幅で各領域が接合されている。

【0044】波長可変半導体レーザを用いて光ファイバーを介してより遠方にレーザ光を送るには、光ファイバー内の光損失に打ち勝つべく、なるべく光出力が高い方が実用上望ましい。しかしながら、実施の形態1における波長可変半導体レーザの光導波路構造では、水平横モードを基本モードに維持すべく光導波路5の光導波路幅を所定の幅以下にする必要があり、この場合、光出力は光導波路5中である決まった光密度で飽和するレベルで制限されていた。

【0045】そこで、実施の形態2における波長可変半導体レーザのように、光導波路5中の前面のレーザ光出射端面と前方光反射領域2であるSG-DBRミラーの間にレーザ光を光増幅すべく機能するレーザ光増幅領域101を設け、活性領域1で発生したレーザ光をかかるレーザ光増幅領域101で光増幅すれば、このようなレーザ光増幅領域101を具備しない波長可変半導体レーザに比べて、レーザ光飽和のレベルがより向上し、この結果、高出力動作が可能な波長可変半導体レーザが得られる。

【0046】実施の形態3、図8は本発明に係る実施の形態3の波長可変半導体レーザの光軸方向に沿った断面図(a)および上面図(b)を示している。実施の形態2に比べるとレーザ光増幅領域の光導波路幅、つまりストライプ幅がレーザ光出射端面に向かってテーパ状102に徐々に広がっている。実施の形態2に係る波長可変半導体レーザにおいてもレーザ光の高出力化は可能ではあるが、最終的にはレーザ光増幅領域101の光増幅率の飽和に起因する光飽和が生じるため、結果的にかかる光飽和が生じる光出力が最高光出力となる。このような制限を打破し、さらなる高出力を得るには、半導体基板6に対して水平方向の光導波路幅を拡張することによ

り、光導波路5の体積を増加させねばよい。しかしながら、単純に光導波路幅を広げた場合、所定の光導波路幅以上になると、水平横モードにおいて高次モードが発生しやすくなり、単峰のレーザビーム形状が得られない不具合が生じる。

【0047】そこで、かかる不具合を防止するため、本実施の形態の如くレーザ光増幅領域をテーパ形状102とすると、活性領域1で発したレーザ光はレーザ光出射端面に向かってテーパ形状のレーザ光増幅領域102を徐々に広がりながら進行するため、安定な基本水平横モードを保持しつつ、実効的な光導波路面積の増大によってレーザ光増幅領域102内部で光増幅率の飽和が生じる最大光出力が、実施の形態2の波長可変半導体レーザの最大光出力と比べてもさらに向上するという顕著な効果をもたらす。

【0048】実施の形態4、図9は本発明に係る実施の形態4の波長可変半導体レーザにおける光軸方向に沿った断面図(a)および上面図(b)を示している。図中、14eはレーザ光増幅領域上のp電極を示す。実施の形態1に比べると前方光反射領域2と前方側で接して、レーザ光出射端面に向かって光導波路幅がテーパ状に徐々に拡張されているモード拡大領域103を設けており、かつモード拡大領域における最も拡張された部分の光導波路幅に一致する幅で形成されたレーザ光増幅領域104がレーザ光出射端面に至るまで設けられている。

【0049】実施の形態4に係る波長可変半導体レーザでは、活性領域1を発したレーザ光は、一旦モード拡大領域103において、基本水平横モードを保持しつつ水平方向に拡大され、さらに、その拡大されたレーザビーム形状を保持しつつレーザ光増幅領域104を進行するため、レーザ光増幅領域104においても基本水平横モードを維持でき、かつ光導波路幅が拡大された分、レーザ光増幅領域104における光増幅率の飽和を防止できるため、高出力動作が可能となる。

【0050】さらに、モード拡大領域103上にはp型電極が形成されていないため、かかる領域103に電流が注入されることはない、すなわちモード拡大領域103はバシブな領域であるため、水平横モードを基本モードに保持しながら、テーパ形状に沿ってレーザ光をより安定に拡大できる効果が得られる。

【0051】なお、上述の各実施の形態では説明の便宜上、活性領域1をInGaAsPとしたが、活性領域1を構成する材料はInGaAsPに限定される訳ではなく、例えば、AlGaAsでも同様な効果が生ずることは言うまでもない。

【0052】実施の形態5、本発明の実施の形態5における光モジュールを説明する。図10は実施の形態5における光モジュールの概観図である。かかる光モジュールでは、実施の形態1~4で説明したいずれかの波長可

変半導体レーザ201をヒートシンク202上に実装した後、集光レンズ203a、b、波長モニター204と光ファイバー205とを一体化すべく筐体206に固着している。

【0053】波長可変半導体レーザ201にワイヤ(図示せず)を介して、各電極に順方向電圧を印加し、所望の電流値に制御された電流を流すと、電流値に応じた波長のレーザ光が波長可変半導体レーザ201から発し、一旦集光レンズ203aによって集光された後、光ファイバー205に入射する。一方、波長可変半導体レーザ201の反対側の端面からのレーザ光は集光レンズ203bによって同様に一旦集光されて、波長モニター204に入射してレーザ波長が分析されるので、光モジュール外部からレーザ光波長を常時モニターすることができる。かかる光モジュールでは、上述した安定に波長を変化できる波長可変半導体レーザを光源に採用したので、波長安定性に優れたレーザ光を光ファイバー出力として得られる効果がある。なお、波長可変半導体レーザ201の後方に設置するのは、波長モニター204に限らず、例えばフォトダイオード等でもかまわない。

【0054】

【発明の効果】本発明に係る波長可変半導体レーザでは、半導体基板と、半導体基板の上面に設けられた光導波路と、光導波路の一部でレーザ光出射方向に対して前方に設けられ一対の回折格子部と非回折格子部からなる部分を一周期として複数周期繰り返されたSG-DBRミラーからなる前方反射領域と、光導波路の一部でレーザ光出射方向に対して後方に設けられ回折格子のピッチを所定の距離間の一端から他端へと規則的に変化させた部分を一周期として複数周期繰り返されたSSG-DBRミラーからなる後方反射領域と、光導波路の一部で前方反射領域と後方反射領域の間に設けられた活性層からなる活性領域と、光導波路の一部で前方反射領域と後方反射領域の間に設けられ電流注入により屈折率変化を生ぜしめる位相制御層からなる位相制御領域と、を備えたので、波長可変時の波長安定性に優れた波長可変半導体レーザを得ることができる。

【0055】また、本発明に係る波長可変半導体レーザでは、上述の前方反射領域における非回折格子部上に電流ブロック領域を形成したので、波長可変時の波長安定性に優れ、さらに、低閾値でかつ高効率で動作する波長可変半導体レーザが得られる。

【0056】また、本発明に係る波長可変半導体レーザでは、上述の光導波路の一部で前方反射領域に対してさらに前方に設けられたレーザ光増幅領域を備えたので、波長可変時の波長安定性に優れ、かつ高出力で動作する波長可変半導体レーザを得ることができる。

【0057】また、本発明に係る波長可変半導体レーザでは、上述のレーザ光増幅領域における光導波路を、レーザ光出射端面に近接するに従い半導体基板に対して平

行方向に徐々に拡張されたテーパ形状を呈することとしたので、波長可変時の波長安定性に優れ、かつ高出力で動作する波長可変半導体レーザを得ることができる。

【0058】また、本発明に係る波長可変半導体レーザでは、上述の光導波路の一部で所定の光導波路幅を有するレーザ光増幅領域と前方反射領域との間に設けられ、レーザ光増幅領域に近接するに従い半導体基板に対して平行方向に徐々に拡張されたテーパ形状を呈するモード拡大領域を備えたので、波長可変時の波長安定性に優れ、かつ高出力で動作する波長可変半導体レーザを得ることができる。

【0059】本発明に係る光モジュールでは、上述のいずれかの波長可変半導体レーザと、かかる波長可変半導体レーザから発したレーザ光を集光する集光レンズと、集光されたレーザ光を導波する光ファイバーと、前述の波長可変半導体レーザ、集光レンズ、光ファイバーを固定する筐体と、を備えたので、波長安定性に優れたレーザ光を光ファイバー出力として得られる効果がある。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】 実施の形態1における波長可変半導体レーザの素子構造を示す断面図(a)および概観図(b)である。

【図2】 (a)は、実施の形態1の波長可変半導体レーザにおける前方および後方の光反射領域に電流を注入しない場合の前方SG-DBRミラーの反射ピークスペクトルと、後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルを示した図であり、(b)は、実施の形態1の波長可変半導体レーザにおける後方光反射領域に電流注入を行った場合の後方SSG-DBRミラーの反射ピークスペクトルを、電流注入していない前方SG-DBRミラーの反射ピークスペクトルと比較して示した図である。

【図3】 シミュレーションによって、結合係数 κ をパラメータとして、SSG-DBRミラーにおける反射ピーク強度の不均一性と後方光反射領域における周期の繰り返し数の関係を示した図である。

【図4】 従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザ(a)と実施の形態1に係る波長可変半導体レーザ(b)のレーザ発振波長を計算し、前方および後方光反射領域における注入電流(i_f , i_r)の関数としてそれぞれ2次元的に等高線表示した図である。

【図5】 従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザ(a)と実施の形態1の波長可変半導体レーザ(b)において、 i_f , i_r をそれぞれ0~20mAの範囲で1mAステップで変化させてレーザ発振波長を計算し、それぞれレーザ発振波長に対してなるべく連続して変化する様な順に配列した結果を示した図である。

【図6】 実施の形態1の波長可変半導体レーザの一変形例である前方光反射領域における非回折格子部上に電流ブロック領域を設けた素子構造を示す断面図(a)お

より概観図 (b) である。

【図7】 実施の形態2の波長可変半導体レーザの光軸方向に沿った断面図 (a) および上面図 (b) である。

【図8】 実施の形態3の波長可変半導体レーザの光軸方向に沿った断面図 (a) および上面図 (b) を示している。

【図9】 実施の形態4の波長可変半導体レーザの光軸方向に沿った断面図 (a) および上面図 (b) を示している。

【図10】 実施の形態5の光モジュールの概観図である。

【図11】 従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザの光軸方向に沿った断面図である。

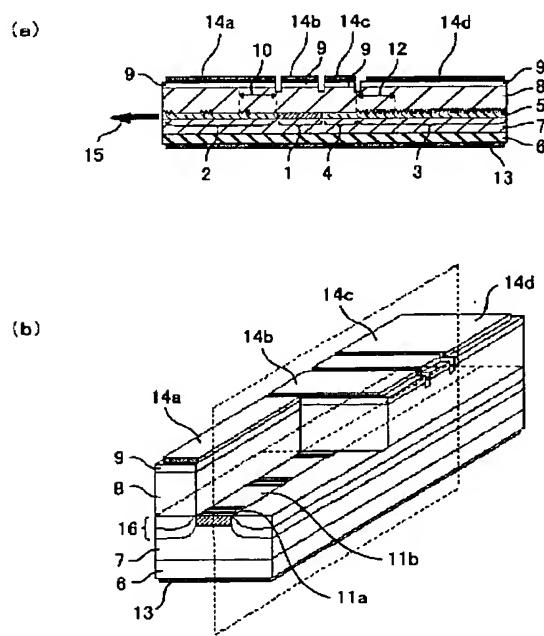
【図12】 (a) は従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザにおいて、前方光反射領域および後方光反射領域に電流注入を行わない場合の各領域内にそれぞれ形成された前方SSG-DBRミラーの反射ビーグスペクトルと後方SSG-DBRミラーの反射ビーグスペクトルを表す図であり、(b) は従来のSSG-DBR波長可変半導体レーザにおいて、後方光反射領域に電流注入を行った場合の後方SSG-DBRミラーの反射ビーグスペクトルを、電流注入していない前方光反射領域の前方SSG-DBRミラーの反射ビーグスペクトルと比較して示した図である。

【図13】 従来のSG-DBR波長可変半導体レーザの光軸方向に沿った断面図である。 *

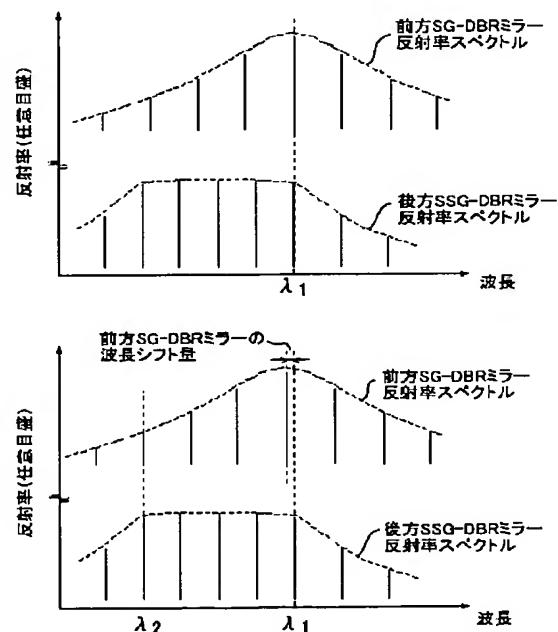
* 【符号の説明】

1 活性領域、 2 前方光反射領域、 3 後方光反射領域、 4 位相制御領域、 5 InGaAsPからなる光導波路、 6 n型InP基板、 7 n型InPクラッド層、 8 p型InPクラッド層、 9 p型InGaAsPコンタクト層、 10 前方光反射領域を構成するSG-DBRミラーの一周期、 11a 前方光反射領域を構成するSG-DBRミラー中の回折格子部、 11b 前方光反射領域を構成するSG-DBRミラー中の非回折格子部、 12 後方光反射領域を構成するSG-DBRミラーの一周期、 13 n型電極、 14a, 14b, 14c, 14d, 14e p型電極、 15 波長可変半導体レーザ外部に出射されたレーザ光、 16 電流閉じ込め層、 17 前方光反射領域を構成するSG-DBRミラー中の電流ブロック領域、 21 前方SSG-DBRミラーの回折格子ピッチ変調の一周期、 22 後方SSG-DBRミラーの回折格子ピッチ変調の一周期、 101 レーザ光増幅領域、 102 レーザ光出射端面に向かってストライプ幅がテーパ状に広がったレーザ光増幅領域、 103 レーザ光出射端面に向かって光導波路のストライプ幅がテーパ状に広がっているモード拡大領域、 104 レーザ光増幅領域、 201 波長可変半導体レーザ、 202 ヒートシンク、 203a, b 集光レンズ、 204 波長モニター、 205 光ファイバ、 206 壁体。

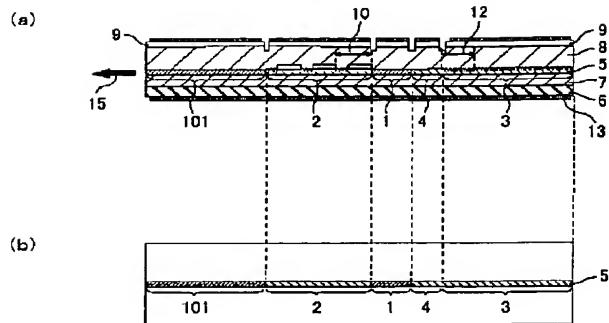
【図1】



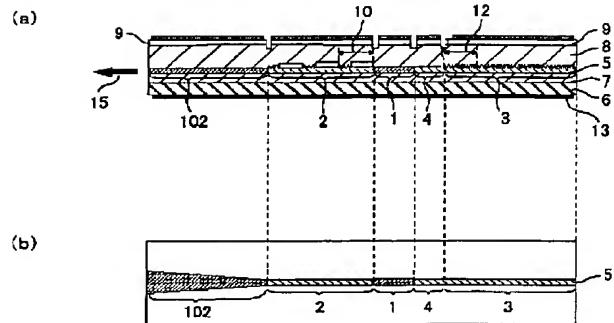
【図2】



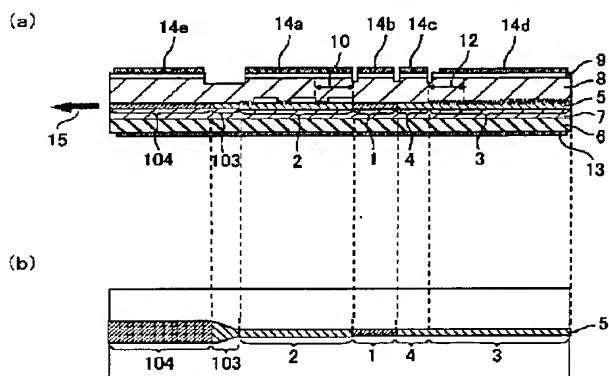
【図7】



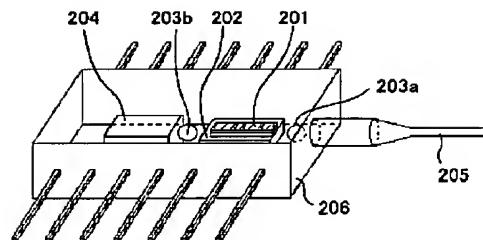
【図8】



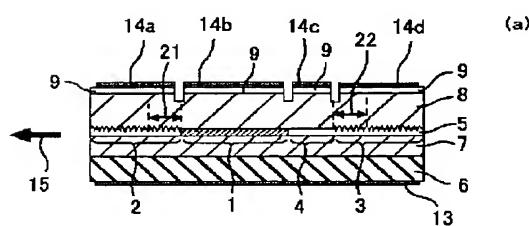
【図9】



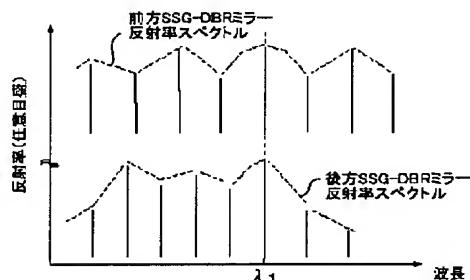
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

